VARIABILITA SRÁŽKOODTOKOVÝCH VZTAHŮ V PŮDNÍM PROFILU

Martin Šanda, Miroslav Hrnčíř, Lukáš Novák, Milena Císlerová

Hydrologické a klimatické monitorování na kontinuální bázi zaměřené na sledování procesů vodní bilance půdního profilu na svahu na experimentálním povodí Uhlířská v Jizerských horách bylo započato v roce 1998. Experimentální povodí zaujímá plochu 1.87 km^2. Průměrná nadmořská výška povodí je 822 m n.m., průměrná délka svahů je 450 m. Území dnešního experimentálního povodí bylo v kalamitních těžbách počátkem osmdesátých let z 50% odlesněno. Povodí leží v oblasti s nejvyšším srážkovým úhrnem v ČR, převyšujícím 1300 mm/rok. Průměrná roční teplota je 6.5^{o}C. Půdní profil je klasifikován jako půda hnědá kyselá (Dystric Cambisol), je mělký a vysoce heterogenní, formovaný na zvětralém žulovém podloží.

K poznání a ohodnocení mechanismu transformace srážky na odtok z půdního profilu v prostředí, kde podpovrchový odtok hraje dominantní roli, byl v roce 1997 vybudován podzemní sběrný příkop. Podpovrchový odtok je monitorován ve třech výškových horizontech a dvou nezávislých sekcích. V bezprostřední vzdálenosti nad příkopem je monitorován půdní sací tlak pomocí automatických tenzometrů instalovaných po trojicích do vrstev půdního profilu odpovídajících umístění podpovrchových sběrných kolektorů podzemního odtoku.

Během sedmi vegetačních a pěti mimovegetačních období bylo zaznamenáno více jak 20 významných odtokových událostí, způsobených jak infiltrací srážek různých intenzit a dob trvání, tak táním sněhové pokrývky. Odtokové jevy vykazují vysokou míru variability vztahu půdního sacího tlaku, ev. výšky hladiny podzemní vody vůči okamžité intenzitě odtoku a to jak během jedné epizody z důvodu hystereze mezi vzestupnou a sestupnou větví hydrogramu, tak i mezi jednotlivými epizodami. Zde hraje zásadní roli momentální vlhkost půdního profilu v závislosti na historii plnění pórového prostoru vlivem účinku hydrologických a klimatických jevů. Půdní profil je převážně nenasycený, přesto je půdní vlhkost po většinu času blízko nasycení, což má podstatný vliv na okamžik začátku podpovrchového odtoku a jeho další vývoj. Místní preferenční cesty vedou srážkovou vodu ve výrazně variabilním řádu rychlostí, poté co je půdní profil nasycen.Vztah výšky hladiny podzemní vody, půdní vlhosti a podpovrchového odtoku s celkovým odtokem z povodí je velmi těsný.

Odtok z povodí, kde je půdní profil tvořen zvětrávajícím krystalinickým substrátem je podmíněn do velké míry půdní vlhkostí a existencí preferenčních cest. Studování preferenčních cest a jejich vlivu na odtok z povodí na experimentálních povodích v Jizerských horách je součástí širšího výzkumu na Fakultě stavební ČVUT, kde zastupuje oblast velkého měřítka a navazuje na studium preferenčních cest v laboratorním a mikroskopickém měřítku.

Klíčová slova: hydrologické monitorování, podpovrchový sběrný příkop, srážkoodtokové epizody, preferenční proudění, hnědá půda kyselá, žulové podloží

Variability of rainfall and runoff in the soil profile. *Hydrological and climatic monitoring is focusing on the processes of hydrological cycle occuring in the sloping soil profile. The experimental watershed Uhlířská of Černá Nisa river (1.87 km^2) has been deforested up to 50% in 80's. Its average altitude is 822 m msl., length of the hillslopes is approximately 450 m. Watershed has one of the highest annual rainfall totals in the Czech Republic, exceeding 1300 mm/year. Its average temperature is 6.5^{o}C. The typical soil profile is highly heterogeneous, formed by 0.8-1.2 m of Cambisols. The depth of decayed and fractured granite bedrock as determined by the indirect geophysical methods is 4-20 m. Due to the highly permeable topsoil and preferential flow taking place within the whole soil profile, no overland flow occurs. At the locality Tomsovka, the experimental hillslope transect has been instrumented, the massive data collection and soil surveying is in process since spring 1998. In the subsurface trench, subsurface outflow is monitored in three soil horizons and soil water suction is scanned by triplets of tensiometers with pressure transducers, adjacent to the trench. Almost simultaneous reaction of suction change in all soil horizons implies a rapid vertical flow. The unsaturated regime within the soil profile prevails, nevertheless the soil moisture content is close to the saturation. Local preferential flow paths are conducting water at significantly variable rates. During seven vegetation and five non-vegetation periods, about 20 significant runoff events has been recorded. They are caused by a rainfall of a different intensity and duration or result from the snowmelt event combined with the rainfall. Runoff behaviour is of a high variability in terms of soil suction, depth of water in the soil profile as well as groundwater table in the vicinity of the trench. Hysteresis of the rising and falling limb of the subsurface hydrograph has been observed for the events. It is caused by the history of filling and emptying of the porous space due to fluctuation of hydrological and climatic variables.*

Relations of groundwater table, soil moisture, subsurface runoff and the total outflow from the watershed are significant, showing that transformation of rainfall into runoff in the area where soils are shallow, based on decayed crystalline bedrock is controlled by water content or soil suction in the subsurface. Storm flow is

dominantly conducted by preferential pathways in the subsurface when saturation is reached. This study is part of the global research of preferential flow in the soil at CTU FCE Prague, where it represents the field macroscale processes. It takes benefit of results drawn from laboratory mesoscale and microscale experiments of preferential flow.

Key words: hydrologic monitoring, subsurface collection trench, rainfall-runoff events, preferential flow, brown soil, granite bedrock

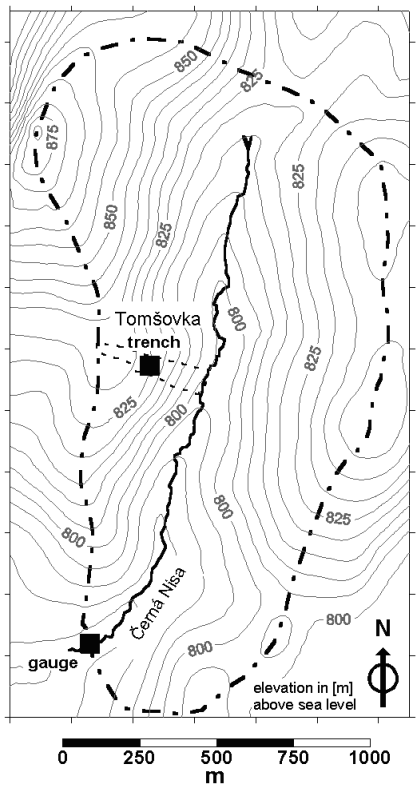
---

ÚVOD

Sledovaným územím je horní část povodí Černé Nisy po limnigrafický profil Uhlířská v Jizerských horách (obr.1). Experimentální povodí zaujímá plochu 1.87 km^2. Průměrná nadmořská výška povodí je 822 m n.m., měrný profil Uhlířská je ve výšce 774 m n.m. Délka povodí je 2.1 km, průměrná šířka je 0.89 km a průměrný sklon údolnice je 2.3%. Průměrná délka svahů je 450 m. Území dnešního experimentálního povodí bylo v kalamitních těžbách počátkem osmdesátých let z 50% odlesněno. Nová výsadba je dnes v I. - III. věkové kategorii. Povodí leží v oblasti s nejvyšším srážkovým úhrnem v ČR, převyšujícím 1300 mm/rok. Průměrná roční teplota je 6.5^oC.

Základním horninovým typem je porfyrická středně zrnitá biotitická žula. Půdní profily lze na povodí Uhlířská schematicky rozdělit na dvě základní skupiny. Jednu tvoří půdní profily v horní části svahu, vzniklé na zvětralém žulovém substrátu, které patří do skupiny kambizemí se základním označením hnědé půdy kyselé, s půdním podtypem oglejené půdy zrašelinělé. Z hlediska textury jde o půdy hlinito-písčité až písčito-hlinité s příměsí skeletu, často velmi hrubého, bez výrazné struktury. Půdní profil je zpravidla tvořen 5 cm vegetačního krytu, 15-20 cm zrašelinělé humusové vrstvy černé barvy, 10 cm přechodové oglejené šedočerné jílovito-hlinité vrstvy, 30 cm hnědé či okrové hlinito-písčité vrstvy a 30 cm eluviální žlutohnědé vrstvy, která plynule přechází do zvětralého žulového substrátu. V celém profilu se vyskytují výrazné poruchy struktury ve formě spojitých vertikálních záteků oxidů železa. Druhou skupinu tvoří půdní profily ve dně údolí, vzniklé ukládáním naplavenin, které jsou pokryty různě mocnou vrstvou rašeliny. Profil je zpravidla tvořen 5 cm vegetačního krytu, 0.5-2 m rašeliny, 0.5-1 m jílovito-štěrkové, velmi kompaktní zeminy bez jakékoliv struktury, jejíž mocnost je v řádu několika metrů. Mocnosti vrstev tohoto typu profilu jsou velmi závislé na morfologii terénu a kolísají daleko více než skladba svahového profilu hnědých půd. Šedomodrá barva jílovito-písčité vrstvy je způsobena redukovanou formou oxidů železa. Tachecí (2002) odhaduje na základě sondování půdních profilů po celé délce údolní části povodí plochu rašelinné oblasti na 10% celkové plochy povodí. Zbývající plocha povodí (90%) je tvořena profilem hnědé půdy, která je v místech lokálního zamokření ve vrchní části profilu zrašelinělá.

Studované povodí Uhlířská je v mnoha úrovních vysoce heterogenní. Vysoké srážkové úhrny, kontrastní klimatické poměry, komplikovaná morfologie terénu, neostrá hranice mezi propustným, značně heterogenním půdním profilem a krystalinickým podložím s neznámým puklinovým systémem způsobují, že srážkoodtokové vztahy jsou zatíženy z hlediska předpovědi odtoků významnou nejistotou. Podpovrchová složka odtoku převažuje nad plošným povrchovým odtokem, způsob jakým přispívá k tvorbě hydrogramu odtoku je však nejasný. Transformaci srážek je proto nutno studovat z mnoha pohledů. Základní pohled je zkoumání vztahu mezi srážkami a odtokem v měřítku celého povodí. Jiné, stejně důležité měřítko je zkoumání mechanismu tvorby hydrogramu na svahu, kde je základním problémem určení hranice nepropustné hranice bilancované oblasti a ve stejné míře i heterogenita půdního prostředí. Nespojitost hranice vlivem puklinových systémů ve skalním podloží má pravděpodobně za následek únik části srážkových vod do hlubokých zvodní. Tyto faktory zatěžují všechny hydrologické úvahy významnou chybou.



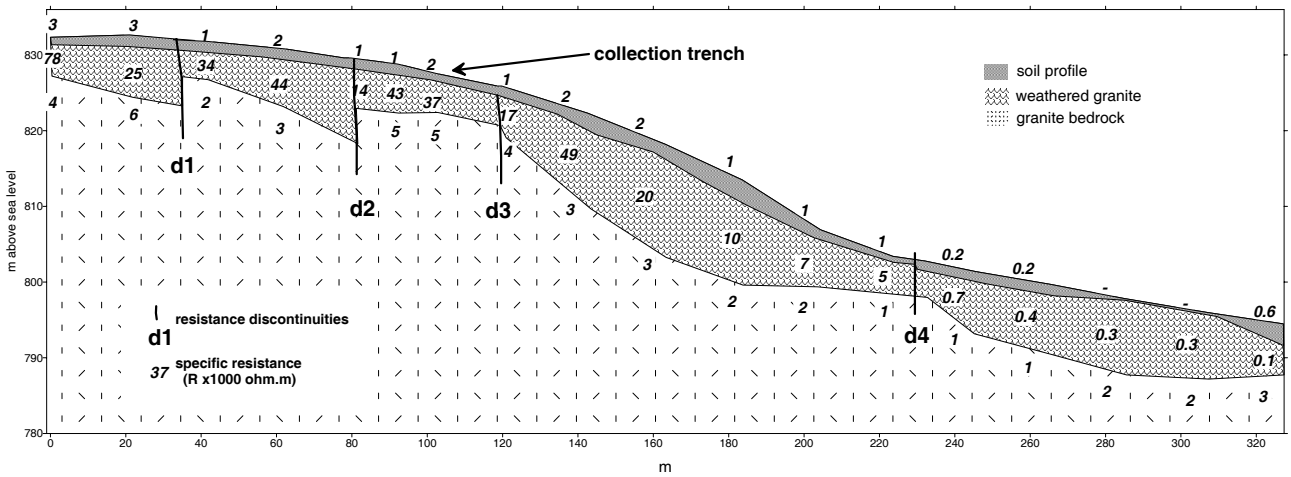
Obr. 1 Mapa povodí Uhlířská
Fig. 1 Map of Uhlířská watershed

POPIS SVAHOVÉ LOKALITY TOMŠOVKA

Terénní experimenty a kontinuální měření a pozorování, prováděná na experimentálním povodí jsou koncipovány s cílem vysvětlit mechanismus odtoku srážek z mělkého půdního profilu (Šanda, 2004). Pro tyto účely byla vytýčena výzkumná plocha na zcela odlesněném svahu Tomšovka. Důvodem pro studium prostorově vymezeného území je extrémní heterogenita povodí, ve kterém procesy v proměnlivě nasyceném půdním prostředí nemohou být detailně a s uspokojivou přesností popsány na celém povodí. Plocha Tomšovka se nachází zhruba v polovině délky povodí na východním svahu (obr. 1). Studovaná lokalita je svahový transekt, definovaný jako vertikální rovina půdního profilu, rovnoběžná se spádnicí. Sklon pokusného svahu Tomšovka se mění od 5 do 20%. Na této ploše byla vybrána lokalita, kde byl vybudován podpovrchový příkop. Toto území je osazeno automatickým vybavením pro sledování hydrologických veličin. Plocha Tomšovka byla vybrána z důvodu relativně přehledné topografie svahu a minimální zalesněnosti (sporadická výsadba smrku, který byl v roce 1996 v I. věkové kategorii).

Geologický a geofyzikální průzkum

Vrtné práce na svahu potvrdily, že svahový půdní profil na bázi žuly je velmi mělký, v průměru dosahuje hloubky 1 m a je tvořený hnědou půdou s významným procentem skeletu. Ve dně údolí byla ve vrtech nalezena povrchová vrstva velmi vlhké rašeliny o mocnosti v průměru 0.5-1.5 m, pod kterou se nachází nasycený zajílovaný štěrkopískový náplav. Účelem geofyzikálního průzkumu bylo přispět ke stanovení strukturně-tektonických poměrů půdního horizontu a jeho podloží a objasnění hydrogeologické situace na experimentální ploše lokality Tomšovka. Při průzkumu tektonických struktur byla provedeno celoplošné měření metodou dipólového elektromagnetického profilování (Císlerová et al., 1997). Pro sondování přechodu do neporušeného horninového prostředí v ose transektu byla použita metoda vertikálního elektrického sondování. Obr. 2 znázorňuje představu o geologické skladbě studovaného transektu.



Obr. 2 Specifikace geologické struktury pomocí vertikálního elektrického sondování

Fig. 2 Specification of the geological formation by vertical electrical survey.

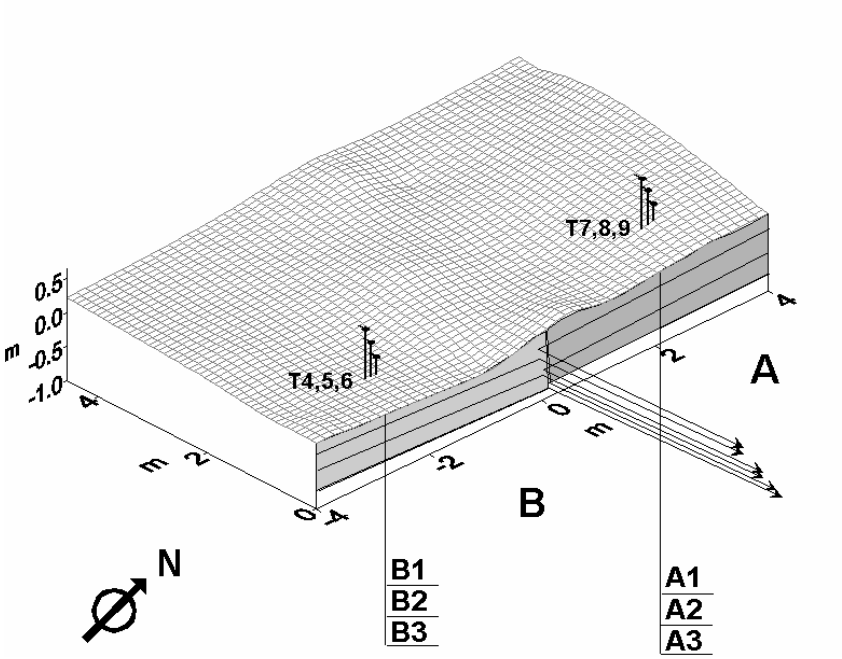
Hydropedologický průzkum

K ohodnocení variability povrchových infiltračních rychlostí půdního prostředí byla v povodí provedena série výtopových infiltračních pokusů (Císlerová et al., 1998). Ze zpracování vyplývá, že se hydraulická vodivost povrchových vrstev pohybuje v rozmezí hodnot od 10^{-6} m.s^{-1} až 10^{-3} m.s^{-1} s průměrnou hodnotou $1{,}89.10^{-4}$ m.s^{-1} a koeficientem variace 144%, indikujícím vysokou variabilitu. Hodnoty odhadu ustálených infiltračních rychlostí pro rašelinu se pohybují v rozmezí 10^{-7} m.s^{-1} až 10^{-5} m.s^{-1}.

Na experimentálním svahu proběhl odběr půdních vzorků pro měření retenční čáry půdní vlhkosti, pórovitosti a specifické objemové hustoty. Celkem byl měřením získán soubor 95 čar pro hnědou půdu a 11 čar pro rašelinu, ze kterého jsou stanoveny referenční retenční křivky (Vogel et al., 1991) pro stanovení závislosti půdní vlhkosti na půdním sacím tlaku v jednotlivých typických půdních horizontech.

Kontinuální monitorování vodního režimu na svahu

Ke sledování srážkoodtokových poměrů na svahu byl v místě se sklonem 14% vybudován sběrný objekt pro zachycení vody odtékající z jednotlivých vrstev půdního profilu (Císlerová et al., 1997). Spádové povodí tohoto objektu stanovené podle topografie povrchu je cca 0.1 ha. Vzhledem k faktu, že je tímto příkopem sváděna voda jen z vrchních 50-70 cm hloubky, je sběrná oblast odhadnuta pouze na 0.01 ha. Sběrný objekt se skládá ze dvou sekcí (A, B), každé o délce 4 m a šířce 1 m, umístěných vedle sebe v ručně vyhloubeném příkopu hloubky cca 80 cm. Obě sekce mají zcela samostatný sběr odtékajícího množství vody. Pro každou sekci odděleně byl příkop vystrojen v horních dvou horizontech (zrašelinělý horizont Ah a B horizont tmavě hnědé půdy) nerezovými plechy o délce 4 m. Na plechu je připevněn žlab, kterým je odváděna voda vytékající z jednotlivých horizontů a sekcí příkopu. Dno příkopu, které je vymezeno horním okrajem zvětralinového pláště, bylo zabetonováno. Ve dně je umístěn v každé sekci sběrný žlab, vždy o délce 4 m. Celkem je takto sbíráno 6 sekcí. Voda ze všech sekcí je sváděna trubkami do měrných nádob. Ty pracují na principu překlopného průtokoměru se záznamem do dataloggeru, pro stanovení intenzity odtoku. Mikropovodí experimentálního příkopu je vybaveno automatickými tenzometry ve kterých je půdní sací tlak snímán v intervalu 10 minut. Tenzometry jsou umístěny osově uprostřed nad sekcemi A, B, mezi sekcemi ve vzdálenosti 1 m od hrany příkopů a osově mezi sekcemi A a B - 10 m a 20 nad příkopy.



Obr. 3 Sběrný příkop pro podpovrchový odtok s měřením půdního sacího tlaku
Fig. 3 Collection trench for subsurface flow with soil suction measurement

VARIABILITA SRÁŽKOODTOKOVÝCH EPIZOD

Z vegetačních období r. 1998-2004 byla vybrána sada 27 odtokových událostí v povrchovém toku Černé Nisy (Hrnčíř, 2005). Přehled událostí uvádí tab. 1. Pro většinu těchto událostí byl detekován i podpovrchový odtok ve sběrném příkopu na svahu (tab. 2). Odtokové epizody jsou vymezeny dosažením základního odtoku v úrovni 0.05 mm/h, odpovídající přibližně 30 l/s v uzávěrovém profilu Černé Nisy. Často tyto významné srážkové události následují po sérii kratších období s málo intenzivní srážkovou činností. Srážkoodtokové události lze rozdělit do dvou skupin podle doby trvání a celkového odteklého množství: na události vyvolané letními krátkými a vydatnými srážkami z bouřkové činnosti a události způsobené podzimními delšími dešti s nižší intenzitou.

Odtok ze spodních horizontů půdního příkopu (A3, B3) je zkoumán v souvislosti s odtokem z celého povodí. Vzhledem k faktu, že konstrukcí sběrného příkopu je ovlivněn přirozený charakter proudění, je téměř veškerý podpovrchový odtok svrchních 50-70 cm půdního profilu sváděn do těchto sběrných horizontů. Odtok z horizontu B3 je vybrán pro porovnání s odtokem z povodí (tab.2). Hydrogramy odtoku z podpovrchového sběrného příkopu na svahu Tomšovka a soustředěného povrchového odtoku z povodí Uhlířská mají velmi podobný tvar (obr. 4). Vzestupné větve jsou velmi strmé, což podporuje hypotézu, že rychlý podpovrchový odtok z mělkého půdního profilu na svazích povodí je přímým zdrojem soustředěného povrchového odtoku z povodí. Ten je významně urychlen v síti lesních příkopů, která zprostředkovává komunikaci půdního profilu s vodotečí. Poměrně rychlá je i poklesová větev hydrogramu, což činí jednotlivé epizody ostře ohraničitelné a potvrzuje epizodický charakter odtoku z tohoto horského typu povodí, kde převážné množství odtoku probíhá ve velmi krátkých a jasně oddělených obdobích.

Souběžně s intenzitou odtoku byly snímány i půdní sací tlaky v bezprostřední blízkosti vždy v jedné lokalitě, ve třech hloubkách pro každý příkop A a B. Z měření vyplývá úzká shoda vzrůstu půdního sacího tlaku a počátku tvorby podpovrchového odtoku (obr. 4), ke kterému dochází, jakmile hodnota hydraulické výšky dosáhne výškové úrovně sběrného příkopu. Mnohdy, zvláště v období s dlouhodobější srážkou, kdy je půdní profil blízko nasycení, nejsou vzrůsty v záznamu tlaků patrné. Tlaky setrvávají ve stavu dosaženém během předchozích srážkových událostí, které nevyvolaly odezvu v podobě tvorby odtoku, přestože byl půdní profil pozvolna dosycován. Jelikož však nebylo

dosaženo plného nasycení a cesty proudění nebyly spojitě zaplněny vodou, ke drénování půdního profilu zatím nedošlo. K počátku odtoku, často velmi intenzivnímu v takovém stavu může přispět i srážka malé intenzity a úhrnu. Po dosažení bodu nasycení půdního profilu, bez významného poklesu sacího tlaku, dochází k okamžitému rychlému odtoku.

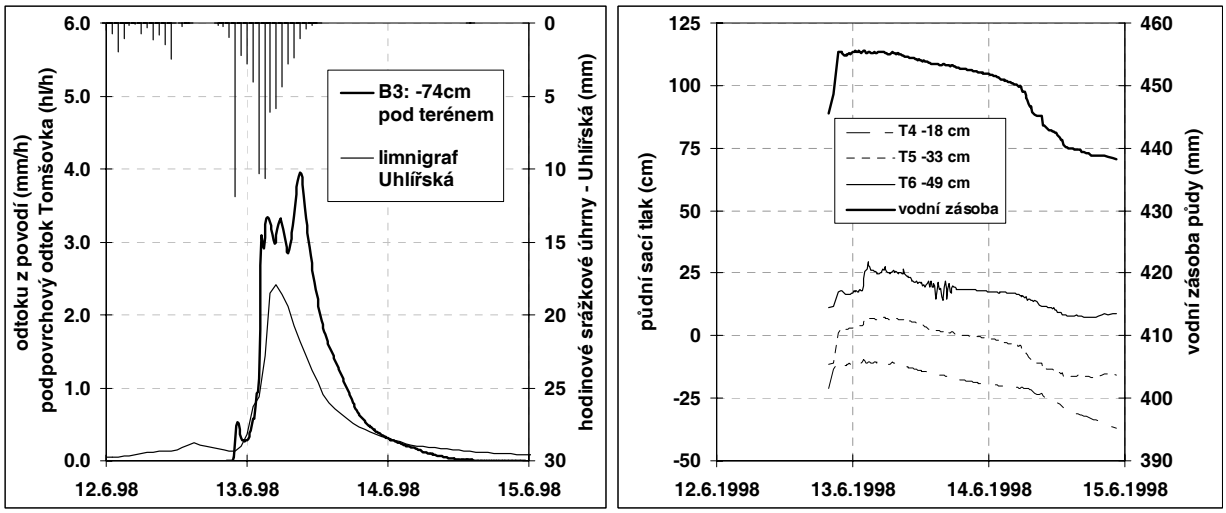
Tab. 1 Přehled odtokových epizod v uzávěrovém profilu Černé Nisy, Uhlířská (Hrnčíř, 2005)
Tab. 1 Overview of runoff events in the gauging station Černá Nisa, Uhlířská (Hrnčíř, 2005)

epizoda	počátek	konec	trvání epizody [h]	počát. vodní zásoba půdy [mm]	srážka [mm]	odtok [mm]	odtok. koef [-]	max. srážková intenzita [mm/h]	prům. srážková intenzita [mm/h]	max. odtok [mm/h]
1	10.6.98 18:00	21.6.98 17:00	265	396.0	109.8	42.5	0.39	11.9	1.4	2.4
2	23.6.98 20:00	27.6.98 18:00	95	427.8	31.1	15.8	0.51	2.9	0.8	0.6
3	4.7.98 4:00	21.7.98 16:00	421	413.3	102.4	62.4	0.61	3.4	0.7	0.8
4	22.8.98 10:00	3.9.98 17:00	296	376.5	73.4	25.8	0.35	2.7	0.6	0.4
5	31.5.99 12:00	2.6.99 21:00	58	352.1	23.4	5.0	0.21	13.0	2.1	0.4
6	3.6.99 0:00	5.6.99 18:00	67	384.4	28.1	9.9	0.35	14.9	2.2	0.8
7	12.6.99 3:00	17.6.99 19:00	137	402.6	36.1	22.1	0.61	4.5	0.9	1.1
8	18.6.99 2:00	24.6.99 19:00	162	407.9	47.2	28.4	0.60	3.4	0.8	0.8
9	7.9.99 17:00	10.9.99 16:00	72	359.1	22.8	4.3	0.19	22.1	2.1	0.4
10	9.10.99 13:00	19.10.99 8:00	236	454.6	64.4	39.2	0.61	4.4	0.8	0.9
11	18.5.00 3:00	27.5.00 13:00	227	343.2	48.4	23.2	0.48	2.9	0.7	0.6
12	27.5.00 13:00	5.6.00 16:00	220	390.4	32.9	15.6	0.47	10.5	1.4	0.5
13	16.7.00 19:00	24.7.00 16:00	190	424.4	69.4	42.6	0.61	6.6	1.0	1.6
14	26.7.00 22:00	5.8.00 18:00	237	409.3	70.6	39.7	0.56	6.6	1.1	1.0
15	2.9.00 1:00	12.9.00 15:00	255	347.8	84.3	38.7	0.46	5.7	1.1	1.1
16	28.5.01 5:10	31.5.01 13:10	81	341.9	51.5	14.8	0.29	18.9	2.2	1.6
17	18.6.01 8:10	21.6.01 13:10	78	405.5	28.0	12.3	0.44	11.8	1.9	0.8
18	30.6.01 23:10	4.7.01 17:10	91	391.1	31.3	14.1	0.45	9.3	1.7	0.9
19	8.7.01 11:10	14.7.01 18:10	152	377.9	40.5	18.6	0.46	5.0	1.0	0.6
20	15.7.01 23:10	28.7.01 17:10	307	383.3	126.6	79.5	0.63	11.4	1.6	4.0
21	29.7.01 17:10	3.8.01 17:10	121	367.9	26.1	10.9	0.42	12.5	2.0	0.7
22	31.8.01 13:10	6.9.01 6:10	138	343.4	69.3	24.3	0.35	7.7	1.2	1.3
23	2.8.02 3:00	3.8.02 13:00	35	352.4	22.5	4.2	0.19	13.1	3.2	0.4
24	12.8.02 7:00	18.8.02 16:00	154	365.8	219.0	133.5	0.61	15.3	3.9	7.1
25	5.10.02 22:00	13.10.02 2:00	173	422.9	54.1	34.6	0.64	4.5	0.9	0.9
26	1.7.03 2:00	11.7.03 13:00	252	298.2	66.4	11.7	0.18	11.1	1.1	0.1
27	9.9.03 14:00	18.9.03 18:00	221	315.2	68.4	13.4	0.20	7.2	1.2	0.5

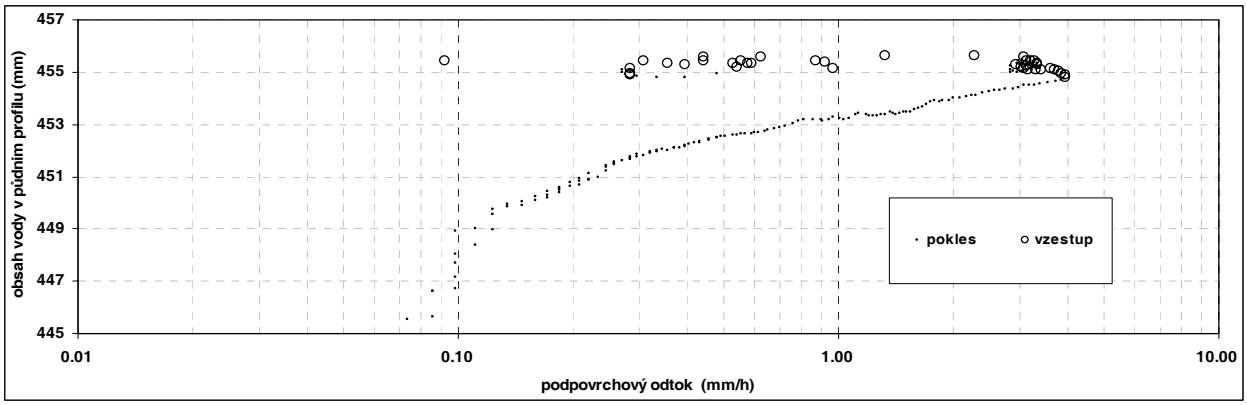
Tab. 2 Přehled odtokových epizod v půdním profilu sběrného příkopu v horizontu B3, Uhlířská (Hrnčíř, 2005)
Tab. 2 Overview of runoff events in the soil profile of the subsurface trench in the horizon B3 (Hrnčíř, 2005)

epizoda	počátek	konec	trvání epizody	počát. vodní zásoba půdy	srážka	odtok	odtok. koef	max. srážková intenzita	prům. srážková intenzita	max. odtok
			[h]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]
1	10.6.98 18:00	21.6.98 17:00	265	396.0	99.4	45.6	0.46	10.0	1.5	3.9
2	23.6.98 20:00	27.6.98 18:00	95	427.8	28.2	5.2	0.19	2.8	0.9	0.3
3	4.7.98 4:00	21.7.98 16:00	421	413.3	93.1	40.3	0.43	3.3	0.9	0.3
5	31.5.99 12:00	2.6.99 21:00	58	352.1	23.4	0.4	0.02	13.0	2.1	0.4
6	3.6.99 0:00	5.6.99 18:00	67	384.4	28.1	1.6	0.06	14.9	2.2	0.3
7	12.6.99 3:00	17.6.99 19:00	137	402.6	36.1	6.7	0.19	4.5	0.9	0.4
8	18.6.99 2:00	24.6.99 19:00	162	407.9	47.2	7.9	0.17	3.4	0.8	0.3
9	7.9.99 17:00	10.9.99 16:00	72	359.1	22.8	0.6	0.03	22.1	2.1	0.6
10	9.10.99 13:00	19.10.99 8:00	236	454.6	64.4	18.3	0.28	4.4	0.8	0.5
13	16.7.00 19:00	24.7.00 16:00	190	424.4	72.7	49.5	0.68	6.7	1.4	1.7
14	26.7.00 22:00	5.8.00 18:00	237	409.3	77.4	37.6	0.49	7.2	1.5	1.3
15	2.9.00 1:00	12.9.00 15:00	255	347.8	97.5	17.1	0.18	7.2	1.7	0.7
20	15.7.01 23:10	28.7.01 17:10	307	383.3	131.0	125.8	0.96	11.5	2.0	11.1
21	29.7.01 17:10	3.8.01 17:10	121	367.9	28.0	0.2	0.01	14.3	3.5	0.5
22	31.8.01 13:10	6.9.01 6:10	138	343.4	75.3	1.8	0.02	8.3	1.7	0.6

Tenzometrická měření z trojice tenzometru T4, T5 a T6 jsou použita využita pro nepřímé stanovení vlhkosti v půdním profilu. Drenážní větve retenčních čár (Šanda, 1999), měřené v laboratoři na půdních vzorcích, proložené vztahem van Genuchtena (1980) jsou použity k odečítání půdní vlhkosti odpovídající příslušnému sacímu tlaku. Při převodu není uvažován vliv hystereze, jelikož hysterezní smyčky retenčních čar nebyly měřeny, což může ovlivnit hodnotu vlhkosti. Z měření v trojici tenzometrů T4-T6 je stanovena celková zásoba vody ve svrchních 75 cm půdního profilu (obr. 4). Celkový objem vody je získán součtem objemů vody v každém ze tří horizontů, jako součin vlhkosti a mocnosti horizontu. Ze získaného průběhu byly vodní zásoba půdy porovnána s průběhem soustředěného odtoku horizontu B3 (obr.5). Přímá příčinná vazba odtoku a stavu půdní vlhkosti není však dokázána vzhledem nejednoznačnosti vztahu vzestupné a poklesové větve hydrogramu odtoku a celkové vodní zásoby půdy. Přesto lze z průběhu závislosti usuzovat, že půdní prostředí je hlavním kontrolním prvkem, který významně ovlivňuje velikost a průběh říčního odtoku, závislého na podpovrchovém odtoku.



Obr. 4 Odtoková epizoda, reakce půdního profilu
Fig. 4 Rainfall outflow event, response of the soil profile

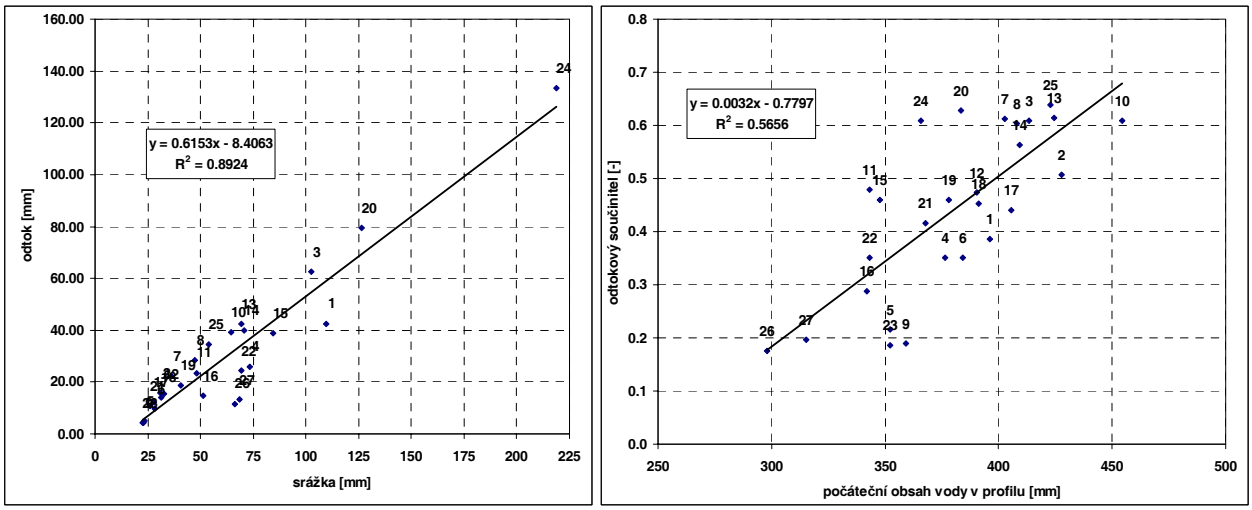


Obr. 5 Vztah okamžitého podpovrchového odtoku a vodní zásoby v půdě

Fig. 5 Relation of the instant subsurface flow and depth of the water in the soil profile

Srážkoodtokové vztahy

Souhrn odtokových epizod v povrchovém toku Černé Nisy a podpovrchovém horizontu B3 byl statisticky zpracován. Obr. 6 ukazuje přímý vztah srážkového a odtokového množství pro celé povodí, spolu s vykreslením závislosti počáteční vlhkosti půdního profilu na odtokovém koeficientu. Z regresní analýzy je patrná úzká příčinná závislost velikosti odtoku na velikosti srážky. Poměrně zřetelný je i vztah počáteční vlhkosti půdního profilu na celkovém podílu odtoku z vypadlé srážky. Ten potvrzuje významný vliv předchozích srážek, ale i ostatních komponent hydrologické bilance, např. evapotranspirace na stav půdního profilu před další srážkoodtokovou událostí. Vlhkost půdního profilu do velké míry určuje průběh srážkoodtokové události.



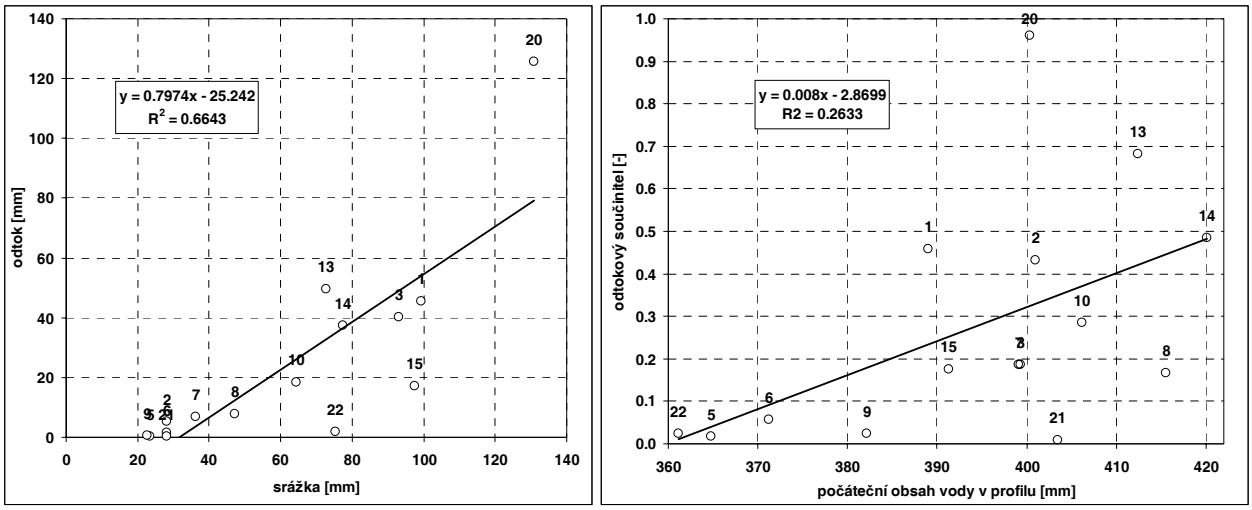
Obr. 6 Srážka, odtok z povodí a obsah vody v půdním profilu pro hydrologické epizody (Hrnčíř, 2005)

Fig. 6 Rainfall, outflow from the watershed and depth of water in the soil for hydrological events (Hrnčíř, 2005)

Stejná analýza srážkového a odtokového množství a počáteční vodní zásoby v půdním profilu pro podpovrchový odtok z půdního horizontu B3 je zpracována na obr. 7 pro epizody, kdy byl ve sběrném příkopě odtok zaznamenán. Soubor srážkoodtokových událostí je redukován jak povahou hydrologických událostí v povrchovém toku Černé Nisy, kdy některé méně významné epizody nezpůsobují vydatný podpovrchový odtok na svahu, tak i skutečností, že některé extrémní události nebylo možné zaznamenat z důvodu výpadku měřící techniky.

Z porovnaných výsledků je i pro události v horizontu B3 sběrného příkopu možné vysledovat poměrně jasnou závislost srážky na podpovrchovém odtoku a nárůst odtokového součinitele s vyšší vodní zásobou půdy na počátku události. Z obr. 7 je patrné, že korelační vztahy nejsou zdaleka tak jednoznačné, jako pro hodnocení odtoku z celého povodí. To je způsobeno i tím, že podpovrchový příkop sbírá odtok jen z nejvyšších vrstev půdního profilu a jeho nejhlubší horizont není omezen

nepropustným podložím. Tak dochází k hlubšímu podpovrchovému odtoku, který není v příkopě snímán. V opačném případě, při vydatné srážkové události, kdy je celý půdní profil nasycen, lze pozorovat, že téměř veškeré srážkové množství okamžitě odtéká sítí preferenčních cest a tvoří podpovrchový odtok, což zajisté neplatí pro povodí jako celek.



Obr. 7 Srážka, odtok z horizontu B3 a obsah vody v půdním profilu pro hydrologické epizody (Hrnčíř, 2005)

Fig. 7 Rainfall, outflow from the horizon B3 and depth of water in the soil profile for hydr. events (Hrnčíř, 2005)

ZÁVĚRY

Monitorování složek hydrologické bilance prokázalo, že podpovrchový a podzemní odtok jsou dominantní složkou plošného odtoku ze sledovaného povodí. Množství, dynamika a variabilita podpovrchového odtoku, tak jak byl detekován během srážkových epizod, jasně prokazuje dominantní podíl preferenčních cest při tvorbě odtoku z půdního profilu. Vysoká hydraulická vodivost vrchní půdní vrstvy a existence preferenčních cest v celém půdním profilu způsobuje, že nedochází k zatopení povrchu a k povrchovému plošnému odtoku. Půdní profil je podstatný pro tvorbu hydrogramu odtoku, provádí převážnou část celkového podpovrchového odtoku, během přívalových dešťů pak celý rychlý podpovrchový odtok. Pro proudění vody pod povrchem má zásadní důležitost heterogenní profil hnědé půdy. Ve zvětralinovém plášti žuly a v rašelinném prostředí je pohyb vody velmi omezený. Významný vliv na tvorbu odtoku má mikrotopografie povrchu terénu a podloží spádového území.

Z výsledků měření vyplývá, že podpovrchový odtok má epizodní charakter. Odtok probíhá v přímé závislosti na průběhu srážkové činnosti. Soustředěný povrchový odtok v údolí Černé Nisy a podpovrchový odtok měřený ve sběrném příkopu jsou v úzké korelaci. Podpovrchový odtok z z půdního profilu vykazuje velkou variabilitu. Celkový režim půdní vlhkosti na svahu je relativně velmi vyrovnaný. Vztah mezi vlhkostí půdního profilu na svahu a odtokem z povodí je lze korelovat. Rozdílné počáteční vlhkostní podmínky, velikost a doba trvání srážky v prostředí s makropóry zásadně ovlivňují proces infiltrace i odtoku zapojením odlišných cest proudění. Tím je významně ovlivněn průběh celé odtokové události.

Poděkování

Výsledky této studie byly získány v rámci řešení grantového projektu S2060104 Grantové agentury Akademie věd ČR.

Literatura

Císlerová, M., Šanda, M., Blažková, Š., Mazáč, O., Grünwald, A., Zeithammerová, J. a Tachecí, P. 1997. Monitorování procesů proudění vody v půdním profilu na experimetální ploše svahu v povodí Uhlířská. zpráva úkolu VaV/510/3/96, DÚ 01, část 8, VÚV T.G.M., ČVUT, Praha.

Císlerová, M., Šanda, M., Vogel, T., Tachecí, P. Grünwald, A., Zeithammerová, J., Stodolovská, A., Votrubová, J., Kundratová, J. a Picek, T. 1998. Výzkum transportních procesů v povodí dotčeném náhlými změnami odtokových poměrů (Jizerské hory), ČVUT FSv, zpráva za rok 1998, VaV/510/3/96-DÚ 01, VÚV T.G.M., ČHMÚ, ČVUT, Praha.

Hrnčíř, M. 2005. Study of runoff formation from a small mountainous chatchment. MSc thesis, Cranfield University, Silsoe, UK.

Šanda, M. 1999. Tvorba podpovrchového odtoku na svahu.Doktorská disertační práce. ČVUT, Praha.

Šanda, M., Vogel, T. Císlerová, M. 2004. Euromediterranean Conference. Hydrograph formation in the hillslope transect. "Progress in Surface and Subsurface Water Studies at the Plot and Small Basin Scale", Turin, Italy.

Tachecí, P. 2002. Hydrologický režim malého horského povodí a posouzení vlivu odlesnění. Doktorská disertační práce. ČVUT, Praha.

van Genuchten, M.Th. 1980. A closed Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Science Society of America Journal: 44, 892-898.

Vogel, T., Císlerová, M. and Hopmans, J.W. 1991. Porous media with linearly variable hydraulic properties, Water Resources Research, 27 (10), 2735-2741.

Autoři

Martin Šanda, České vysoké učení technické, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, martin.sanda@fsv.cvut.cz

Miroslav Hrnčíř, České vysoké učení technické, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, hrncirm@email.cz

Lukáš Novák, České vysoké učení technické, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, lukyfsv@centrum.cz

Milena Císlerová, České vysoké učení technické, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, cislerova@fsv.cvut.cz